مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۳، شماره ۲، سال ۱۳۹۶

تاثیر کمبود آب بر عملکرد دانه و تجمع عناصر غذایی معدنی در دانه ژنوتیپ‌های لوبیا

Effect of Water Deficit on Seed Yield and Accumulation of Seed Minerals in Common Bean Genotypes

علی‌اکبر قنبری[۱]، سیدحسن موسوی[۲] و منوچهر طاهری مازندرانی[۳]

۱- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشارزی، کرج، ایران
۲- استادیار، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشارزی، کرج، ایران
۳- مربی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشارزی، ورامین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۴

چکیده

قنبری، ع. ا.، موسوی، س. ح. و طاهری مازندرانی، م. ۱۳۹۶. تاثیر کمبود آب بر عملکرد دانه و میزان تجمع عناصر غذایی معدنی در دانه ژنوتیپ‌های لوبیا. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۳: ۲۸۴- ۲۶۷.**

این پژوهش برای ارزیابی اثر کمبود آب بر عملکرد و تجمع برخی عناصر در دانه ژنوتیپ‌های لوبیا انجام شد. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ اجرا شد. تیمارهای آبیاری (آبیاری نرمال و کمبود آب) در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌های لوبیا (KS31163، KS31164 و KS31170 از گروه قرمز؛ KS21478، KS21486 و KS21489 از گروه چیتی؛ KS41107 و KS41237 از گروه سفید) در کرت‌های فرعی قرار داشتند. عملکرد دانه و میزان تجمع نیتروژن، آهن، روی و فسفر در دانه‌های ژنوتیپ‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه و تجمع عناصر در دانه تحت تأثیر کمبود آب کاهش پیدا کرد. لوبیا قرمز KS31163 در هر دو شرایط آبیاری بیشترین عملکرد دانه را داشت. شدت تأثیر کمبود آب روی عناصر آهن و فسفر بیشتر از روی و نیتروژن بود. بیشترین کاهش مقدار آهن مربوط به ژنوتیپ KS31170 بود. از نظر آهن و نیتروژن موجود در دانه، لوبیاهای سفید در شرایط تنش آبی دارای مقادیر کمتری نسبت به انواع قرمز و چیتی بودند ولی فسفر بیشتری در این شرایط در دانه ذخیره کردند. در هر دو شرایط آبیاری، دانه‌های ژنوتیپ KS21478 بیشترین مقدار عنصر روی و ژنوتیپ KS41237 کمترین مقدار روی را داشتند. می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت غذایی لوبیا به‌ویژه از نظر تجمع عناصر معدنی در دانه به‌طور قابل توجهی از شرایط محیطی تأثیر می‌پذیرد. بیشترین تأثیرپذیری از کمبود آب مربوط به تجمع عنصر آهن بود که میانگین تجمع آن در دانه بیش از ۱۹ درصد کاهش نشان داد. در مجموع دو شرایط آبیاری، واحد تجمعی عناصر در دانه ژنوتیپ‌های KS31170، KS21478 و KS31163 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: لوبیا، آهن، کمبود آب، روی، فسفر، نیتروژن.

نویسنده مسئول: aghanbari2004@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۲۹۸۳

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و وابستگی غذایی به گیاهان زراعی و محصولات کشاورزی، کلیه دست‌اندرکاران به‌ویژه در بخش کشاورزی را بر آن داشته است که در جهت رفع مشکل کمبود مواد غذایی اهتمام ورزند. در این میان، گیاهانی که از نظر ارزش غذایی و جایگاه در سبد غذایی انسان اهمیت بالایی دارند، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. لوبیا گیاهی است که به‌طور مستقیم مورد استفاده انسان قرار می‌گیرد و یکی از حبوباتی است که در سال‌های اخیر از نظر محتویات فیتوشیمیایی برخوردار از ارزش‌های غذائی و بهداشتی در انسان مثل پلی فنول‌ها، لکتین‌ها و کربوهیدرات‌ها (Reynoso-Camacho *et al.,* 2006؛ Reinprecht *et al.,* 2004) نیز مورد توجه قرار گرفته است.

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گونه‌ای دیپلوئید با ۲۲ کروموزوم بوده و گیاهی یک‌ساله، علفی و خودگشن است. دانه لوبیا سرشار از ویتامین‌ها و مواد معدنی مانند کلسیم، آهن، مس، روی، فسفر، پتاسیم و منیزیم است. به علاوه، منبع مناسبی از کربوهیدرات‌های کمپلکس بوده و به‌طور نسبی غنی از اسیدهای چرب ضروری غیر اشباع لینولئیک و لینولنیک است. علاوه بر این‌ها، لوبیا مقادیر زیادی پروتئین و نشاسته دارد (Fageria and Santos, 2008). مقدار پروتئین موجود در دانه آن بسته به نوع رقم، از ۱۷ تا ۲۵ درصد متغیر است. در دانه لوبیا مواد لیپیدی و فیتیک اسید (فیتین) نیز وجود دارد (Majnoon Hosseini, 2008).

در میان شرایط محیطی تنش‌زا برای گیاهان زراعی، در سراسر جهان محدودیت آب از اهمیت خاصی برخوردار است که باعث شده تحقیقات وسیعی از سطح مولکولی، فیزیولوژیکی، و حتی در حد یک بوته تا سطوح اکوسیستم پیوسته به اجرا گذاشته شود (Chaves *et al.,* 2003). رائو (Rao, 2001) معتقد است که توسعه ارقام سازگار به خشکی یکی از مهم‌ترین راهبردها در تقلیل افت تولید و ارتقای امنیت غذایی در مناطق زیر کشت لوبیا است. در این مورد، متأسفانه کیفیت غذایی و پخت بسیاری از ارقام لوبیا مورد توجه قرار نگرفته‌اند (Broughton *et al.,* 2003).

کیفیت دانه‌های لوبیا بستگی به ژنوتیپ و عوامل محیطی فعال طی دوره رشد گیاه و نمو دانه دارد، بنابراین انتخاب مؤثر برای صفات کیفی دانه با بهره‌گیری از مواردی مانند الف) درک بهتر کنترل ژنتیکی صفات کیفی در سطوح ساختاری، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، ب) برآورد شدتی از عوامل محیطی (مانند دما، رطوبت خاک) که این صفات کیفی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بهبود خواهد یافت (Kigel, 1999).

خلاصه مطالعات منتشرشده در سال‌های گذشته نشان می‌دهد که محیط بر کیفیت دانه و بذر در لوبیا اثر معنی‌دار دارد

(Santalla *et al.*, 1995). نتایج اکثراً مربوط به اندازه دانه، میزان پروتئین، نشاسته و قندهای محلول، مواد لیپیدی، مواد معدنی، سختی دانه، جذب آب توسط دانه‌های خشک و ویژگی‌های پخت بوده است (Kigel, 1999). مطالعات محققان نشان داده است که عوامل محیطی از جمله شرایط رطوبتی خاک، میزان مواد معدنی دانه و کیفیت غذایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Thomas *et al.*, 2009). به‌عنوان مثال، گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش ۸ تا ۱۲ درصدی ذخایر انباشت‌شده در بذر لوبیا شد (Castaneda-Saucedo *et al.*, 2009).

گرچه پژوهش در زمینهٔ تأثیر تنش خشکی بر کیفیت دانه لوبیا اندک است، ولی نتایج موجود نشان می‌دهند که کیفیت دانه لوبیا از کمبود آب متأثر می‌شود (Ghanbari *et al.*, 2013؛ Urrea *et al.*, 2009). بر اساس نتایج رامیرز–ولیجو و کلی (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998)، کیفیت دانه لوبیا به طور منفی تحت تاثیر دوره‌های کوتاه کمبود آب در مزرعه قرار می‌گیرد. به‌طورکلی، زمانی که گیاه تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار گرفته و رشد و میزان زیست‌توده آن در زمان برداشت کاهش می‌یابد، مقدار عناصر غذایی معدنی نیز تغییر می‌کند و عناصر موجود در واحد وزن خشک کاهش پیدا می‌کند (Martinez-Ballesta *et al.*, 2010). تفاوت ژنتیکی در میزان مواد معدنی دانه ارقام و لاین‌های لوبیا از نظر عناصر کم مصرف مانند آهن و روی، و عناصر پر مصرف مانند فسفر و کلسیم وجود دارد (Blair *et al.*, 2005). نتایج بررسی‌های گلین و همکاران (Gelin *et al.*, 2007) نشان داد که بین مقدار روی و آهن، کلسیم، فسفر و عملکرد دانه لوبیا، همبستگی مثبت وجود دارد. در بین عناصر کم‌مصرف، روی و آهن در حساسیت گیاهان به تنش خشکی مؤثرتر هستند (Khan *et al.*, 2003؛ Cakmak, 2008). کمبود آهن اغلب با کمبود روی توأم می‌شود، چون منشأ هر دو عنصر از منابع مشابه غذایی است (Long *et al.*, 2004).

ولچ و گراهام (Welch and Graham, 1999) نشان دادند که کمبود آهن در لوبیا، تغذیه بیش از دو بیلیون نفر را که غذای عمده آن‌ها را انواع لوبیا تشکیل می‌دهد، تحت تأثیر قرار می‌دهد. براساس گزارش روسادو و همکاران (Rosado *et al.*, 2007)، در کشورهای در حال توسعه ۴۰ درصد آهن مورد نیاز بدن از لگوم‌ها و غلات تأمین می‌شود. این عنصر در بسیاری از آنزیم‌های گیاهی که در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء فتوسنتز و تنفس نقش مهمی دارند، وجود دارد (Ghasemian *et al.*, 2010).

روی نیز از عناصر ضروری برای گیاه است که در ترکیب اسیدهای آمینه مختلف مانند هیستیدین، نیکوتیانامین، آسپاراژین و گلوتاتیون

وجـود دارد (Sharma and Dietz, 2006). کمبود روی باعث ایجاد نگرانی‌های تغذیه‌ای در کشورهای در حال توسعه و حتی در کشورهای صنعتی شده است، بنابراین افزایش مقدار روی در بخش‌های خوراکی گیاهان، از جمله دانه‌ها، ممکن است مقدار روی قابل دسترس و مورد نیاز برای بدن را افزایش دهد (Gelin *et al.*, 2007). نتایج مطالعات نشان داده است که کمبود آب تجمع روی در دانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس گزارش‌های موجود، خشکی جذب و بهره‌برداری اکثر عناصر ماکرو و میکرو توسط گیاه و تجمع آن‌ها در دانه لوبیا را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Munoz-Perea *et al.*, 2006, 2007). در مطالعات بشیر و همکاران (Beshir *et al.*, 2016)، میزان تجمع روی در غلاف‌های لوبیا در شرایط تنش خشکی موقت کاهش نشان داد. در نخود، تنش کمبود آب کاهش تجمع روی در دانه برخی ارقام و افزایش تجمع آن در برخی دیگر را در پی داشته است (Khan *et al.*, 2003). در مطالعات گونس و همکاران (Gunes *et al.*, 2007)، تنش خشکی در شرایط گلخانه، تجمع عناصر غذایی کم مصرف از جمله روی را در اندام‌های هوایی گندم و نخود کاهش و در عدس افزایش داده است.

فسفر یکی دیگر از عناصر مهم برای رشد گیاهان زراعی است. این عنصر برای تشکیل بذر ضروری است و در لگوم‌ها عنصر اصلی در متابولیسم نودول است (Gutierrez-Rodriguez *et al.*, 2006). اسید فیتیک ترکیب ذخیره‌ای عمده دانه از نظر فسفر است و میزان آن در ارقام مختلف لوبیا متفاوت گزارش شده است. بین ۵۴ تا ۸۲ درصد مقدار فسفر موجود در دانه لوبیا، یعنی بین ۰/۵ تا ۱/۶ درصد وزن دانه، حاوی اسید فیتیک و نمک‌های آن (فیتات) است. اعتقاد بر این است که انتخاب ارقام با اسید فیتیک پائین می‌تواند منجر به کاهش مقدار پروتئین دانه شود (Broughton *et al.*, 2003).

کمبود آب تأثیر دراز مدت بر جذب و تجمع فسفر در اندام هوایی گیاهان زراعی به‌ویژه برای گیاهی مانند لوبیا که از نظر استحصال فسفر معدنی ضعیف است دارد (Fageria *et al.*, 1997). تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که عملکرد بالای ژنوتیپ‌های لوبیا در تنش خشکی با قابلیت آن‌ها در انتقال محصولات فتوسنتزی به دانه در حال نمو و بهره‌برداری کارآمدتر از آن‌ها، از جمله نیتروژن و فسفر موجود، برای تولید دانه رابطه دارد (Polania *et al.*, 2008). گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، میزان تجمع فسفر، روی و آهن در غلاف و دانه‌های لوبیا کاهش می‌یابد و این کاهش بسته به ژنوتیپ متفاوت است (Beshir *et al.*, 2016؛ Seenaiah *et al.*, 2015). شرایط رطوبتی خاک در طول رشد و نمو، کیفیت غذایی دانه

گیاه سویا را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Thomas *et al.,* 2009). گونس و همکاران (Gunes *et al.,* 2007) گزارش کردند که در شرایط تنش کمبود آب، میزان تجمع نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، روی، منگنز و بور در ارقام مقاوم نخود بیشتر بوده است. در این گیاه، کارایی جذب عناصر غذایی از خاک نیز بیشتر بوده است. همچنین، واکنش ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر جذب و تجمع عناصر غذایی متفاوت بود. چنین شرایطی مدت زمان پخت و مقدار پروتئین دانه در واحد وزن خشک را نیز افزایش می‌دهد (Singh, 2007).

با توجه به اهمیت کیفیت دانه در تغذیه، این پژوهش برای ارزیابی اثر کمبود آب در مزرعه بر صفات کیفی دانه و تجمع برخی عناصر در دانه هشت ژنوتیپ لوبیا اجرا شد.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی کیفی و واکنش ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا به کمبود آب، این پژوهش در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در شهرستان کرج اجرا شد. هشت ژنوتیپ (لوبیا قرمز KS31163، KS31164 و KS31170؛ لوبیا سفید KS41107 و KS41237؛ لوبیا چیتی KS21478، KS21486 و KS21489) مورد ارزیابی قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها دارای تیپ بوته ایستاده بوده و مبدأ آن‌ها مرکز تحقیقات بین المللی CIAT واقع در کلمبیا بود.

آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ اجرا شد. تیمارهای آبیاری (آبیاری نرمال و کمبود آب) در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌ها در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. بذر هر یک از ژنوتیپ‌ها در شش خط به طول پنج متر با تراکم بوته ۴۰ بوته در متر مربع کاشته شد. در شرایط نرمال، آبیاری براساس ۶۰-۵۵ میلی‌متر تبخیر و اعمال تنش آبی براساس ۱۱۰-۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. کاشت بذر به ترتیب در ۲۸ خرداد ماه ۱۳۸۸ و ۱۳ خرداد ماه ۱۳۸۹ انجام شد. برداشت تیمارها بر حسب دوره رشدی ژنوتیپ‌ها و پس از رسیدن بیش از ۹۰ درصد نیام‌ها در هر تیمار انجام شد.

قبل از اجرای آزمایش، از چند نقطه در مزرعه نمونه‌های خاک تهیه و آزمون خاک انجام شد. بر این اساس، بافت خاک مزرعه آزمایشی رسی - لومی و به‌ترتیب دارای میزان فسفر قابل استفاده، آهن قابل جذب، روی قابل جذب و نیتروژن کل برابر ۱۴/۳۶، ۰/۸۸، ۱/۱ و ۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. عناصر غذائی مورد نیاز گیاه در طول رشد و نمو براساس آزمون خاک تأمین شد. قبل از کاشت، ۶۹ کیلوگرم در هکتار کود فسفره (P_2O_5) از منبع فسفات آمونیوم و ۲۳ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره در سطح مزرعه توزیع شد. هم‌زمان با آغاز گلدهی نیز

۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره به صورت سرک و قبل از آبیاری در مزرعه توزیع شد.

در زمان رسیدن کامل دانه‌ها، عملکرد کرت با برداشت دو خط میانی هر کرت و توزین دانه‌های آن (با رطوبت ۱۲ درصد) تعیین شد. برای تعیین مقدار تجمع نیتروژن، آهن، روی و فسفر در دانه‌های ژنوتیپ‌های لوبیا، ۳۰ نیام از هر تیمار برداشت شده و پس از جداسازی دانه‌ها و شستشوی آن‌ها با آب مقطر، نمونه‌های دانه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. در هر دو سال، نمونه‌های دانه تکرارهای اول و دوم با یک‌دیگر و تکرارهای سوم و چهارم نیز با یک‌دیگر تلفیق شد، بنابراین تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عناصر دانه براساس دو تکرار انجام شد. درصد نیتروژن دانه به روش کجلدال تعیین شد و میزان پروتئین دانه از حاصل‌ضرب میزان نیتروژن در ضریب ۶/۲۵ (Anonymous, 2005) به دست آمد. برای تعیین مقدار روی و آهن دانه‌ها، نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی (Atomic absorption unicam model solar) ارزیابی و مقادیر آن‌ها برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک تعیین شد. میزان فسفر موجود در این نمونه‌ها نیز به روش اسپکتروفتومتری و برحسب گرم بر کیلوگرم ماده خشک تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده و ترسیم شکل‌ها با استفاده از نرم افزارهای SAS 9.1، SPSS 16 و Excel و مقایسه میانگین صفات براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. همبستگی بین عناصر موجود در دانه و عملکرد دانه روی میانگین تکرارها و به روش پیرسون تعیین شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر تنش آب اعمال‌شده در این آزمایش قرار گرفت (جدول ۱) و نزدیک به ۵۰ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). لاین KS21486 در هر دو شرایط آبیاری کمترین میزان عملکرد را داشت. بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط نرمال آبیاری، با تفاوت غیر معنی‌دار، به‌ترتیب مربوط به لاین‌های KS31163، KS21478 و KS31164 بود در حالی که در شرایط تنش، لوبیا قرمز KS31164 با افت شدید عملکرد مواجه شد. میانگین عملکرد دانه انواع لوبیا قرمز در شرایط عادی و تنش‌دار نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه لوبیا متأثر از تنش خشکی، به اثر مضر تنش بر هر یک از اجزای عملکرد (تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن دانه و شاخص برداشت) ارتباط پیدا می‌کند. نونز باریوس و همکاران (Nunez Barrios *et al.*, 2005) کاهش ۶۰ درصدی عملکرد دانه را در لوبیا گزارش کردند که مربوط به افت ۶۳/۳ درصدی تعداد نیام در بوته، ۲۸/۹ درصدی تعداد دانه در نیام و ۲۲/۳ درصدی وزن دانه بود. بر اساس گزارش پراساد و همکاران

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه و عناصر معدنی در دانه ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط نرمال و کمبود آب

Table 1. Analysis of variance (mean squares) of seed yield and minerals in seed of bean genotypes in normal and water deficit condition

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	نیتروژن Nitrogen	پروتئین Protein	آهن Iron	روی Zinc	فسفر Phosphorous	درجه آزادی df.	عملکرد دانه Seed yield
Year (Y)	سال	1	0.14*	5.48*	2.25	9.00	0.16	1	36.57**
Rep × Y	بلوک در سال	1	2.69	0.00	0.06	1.13	0.00	6	0.71
Irrigation (I)	آبیاری	1	0.49*	19.15*	2997.56**	315.06**	7.80**	1	229.05**
Y × I	سال × آبیاری	1	0.00	0.01	20.25*	1.00	0.29**	1	1.11*
Error	خطا	2	0.01	0.20	0.15	2.53	0.06	6	1.12
Genotype (G)	ژنوتیپ	7	0.05*	2.02*	419.06**	182.27**	1.30*	7	9.36**
Y × G	سال × ژنوتیپ	7	0.01	0.61	13.96*	1.75	0.01	7	1.66**
I × G	ژنوتیپ × آبیاری	7	0.01	0.27	21.84**	0.77	0.06**	7	1.61**
Y × I × G	سال × ژنوتیپ × آبیاری	7	0.01	0.51	3.96	3.03	0.02	7	0.25
Error	خطا	14	0.01	0.48	4.01	1.94	0.01	84	1.22
Total	کل	63						127	
CV%	درصد ضریب تغییرات		3.68	3.68	3.14	5.39	2.91		11.72

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد.

** and * : Significant at the 1% and 5% levels of probability, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه و عناصر معدنی در دانه ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط نرمال و کمبود آب

Table 2. Mean comparison of seed yield and minerals in seed of bean genotypes in normal and water deficit conditions

		عناصر معدنی Seed minerals					
Irrigation	شرایط آبیاری	فسفر P (gkg^{-1}DM)	نیتروژن N (%)	پروتئین Protein (%)	آهن Fe (mgkg^{-1} DM)	روی Zn (mgkg^{-1} DM)	عملکرد دانه Seed yield (gm^{-2})
Normal	نرمال	3.98a	3.12a	19.50a	70.56a	28.06a	359a
Water deficit	کمبود آب	3.28b	2.95a	18.42a	56.94b	23.63b	180b
Reduction (%)	درصد کاهش	17.60	5.40	5.50	19.30	15.80	44.9

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حرف مشابه هستند، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means followed by similar letters in each column, are not significantly different at 5% probability level, according to DMRT.
DM: Dry matter: ماده خشک

جدول۳- مقایسه مقادیر عناصر معدنی دانه ژنوتیپ‌های لوبیا و درصد کاهش آن‌ها متأثر از کمبود آب

Table 3. Comparison of seed minerals in bean genotypes and reduction percentage caused by water deficit

ژنوتیپ Genotype	نوع لوبیا Bean type	فسفر P (gkg^{-1}DM)			درصد نیتروژن N (%)			درصد پروتئین Protein (%)		
		N	S	Reduction (%)	N	S	Reduction (%)	N	S	Reduction (%)
KS31163	Red	3.30c	2.75e	16.7	3.10bcd	2.98abc	3.9	19.38bcd	18.60abc	4.02
KS31164	Red	3.75bc	3.10cde	17.3	3.18ab	2.93bcd	7.9	19.85ab	18.29bcd	7.86
KS31170	Red	3.90c	3.35bcd	14.1	3.05bcd	2.95abc	3.3	19.07bcd	18.44abc	3.30
KS41107	White	4.55a	3.95a	13.2	2.98d	2.88cd	3.4	18.63d	17.97cd	3.54
KS41237	White	4.45a	3.58b	19.6	3.03cd	2.83d	6.6	18.94cd	17.66d	6.76
KS21478	Chitti	3.70bc	3.00de	18.9	3.30a	3.05a	7.6	20.63a	19.07a	7.56
KS21486	Chitti	4.45a	3.40bc	23.6	3.18ab	2.98abc	6.3	19.88ab	18.60abc	6.44
KS21489	Chitti	3.75bc	3.15cd	16.0	3.15bc	3.00ab	4.8	19.69bc	18.75ab	4.77

N و S: به ترتیب شرایط نرمال و کمبود آب

N and S: Normal and water deficit conditions, respectively.
DM: Dry matter: ماده خشک

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حرف مشابه هستند، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means followed by similar letters in each column, are not significantly different at 5% probability level, according to DMRT.

Table 3. Continued

ادامه جدول ۳

ژنوتیپ Genotype	نوع لوبیا Bean type	آهن Fe (mgkg^{-1}DM)			روی Zn (mgkg^{-1}DM)			عملکرد دانه Seed yield (gm^{-2})		
		N	S	Reduction (%)	N	S	Reduction (%)	N	S	Reduction (%)
KS31163	Red	80.0a	64.0a	20.0	33.0a	28.5ab	13.6	420a	238a	43.3
KS31164	Red	65.5bc	54.0bc	17.6	25.5b	20.5cd	19.6	406ab	147c	63.9
KS31170	Red	80.5a	61.0a	24.2	31.8a	27.0ab	15.1	348c	180b	48.3
KS41107	White	66.0bc	50.0c	24.2	26.0b	20.8c	20.0	349c	159bc	54.4
KS41237	White	61.0c	49.5c	18.9	21.8c	18.5cd	15.1	369bc	178b	51.7
KS21478	Chitti	79.0a	65.0a	17.7	33.5a	29.5a	11.9	427a	233a	45.3
KS21486	Chitti	61.0c	51.5c	15.6	22.0c	17.8d	19.1	221d	180b	48.8
KS21489	Chitti	71.5ab	60.0ab	16.1	31.0a	26.5b	14.5	310c	193b	46.5

N و S: به ترتیب شرایط نرمال و کمبود آب

N and S: Normal and water deficit conditions, respectively.
DM: Dry matter: ماده خشک

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حرف مشابه هستند، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means followed by similar letters in each column, are not significantly different at 5% probability level, according to DMRT.

(Prasad *et al.*, 2008)، خشکی عملکرد را در وهله اول به واسطه محدودیت تعداد دانه از طریق تأثیر بر میزان ماده خشک تولیدشده به واسطه تغییر زمان گلدهی (این امر مخصوصا در انواع رشد محدود صحت دارد) و یا با تأثیر مستقیم بر گرده و تخمک و کاهش تشکیل دانه تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مرحله دوم خشکی پرشدن دانه را از طریق عرضه اسیمیلات تحت تأثیر قرار می‌دهد که نتیجه آن کوچک‌ترشدن دانه و افت عملکرد است.

عناصر موجود در دانه شامل نیتروژن، آهن، روی و فسفر تحت تأثیر معنی‌دار کمبود آب قرار گرفتند. ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه عناصر، تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۱). شدت تأثیر خشکی روی عناصر آهن و فسفر بیشتر از روی و نیتروژن بود (جدول ۲). بر اساس گزارش‌های موجود، خشکی جذب و بهره‌برداری اکثر عناصر ماکرو و میکرو توسط گیاه و دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Munoz-Perea *et al.*, 2006, 2007). کمبود آب اثر مستقیم روی وضعیت روزنه‌ای و آنزیمی و نیز تأثیر درازمدت بر جذب و تجمع فسفر در اندام هوایی گیاهان زراعی (Mouatt and Nes, 1986) به‌ویژه برای گیاهی مانند لوبیا که از نظر استحصال فسفر معدنی ضعیف است (Fageria *et al.*, 1997) دارد. تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که عملکرد بالای ژنوتیپ‌های لوبیا در تنش خشکی با قابلیت آن‌ها در انتقال محصولات فتوسنتزی به دانه در حال نمو و بهره‌برداری کارآمدتر از آنها، از جمله نیتروژن و فسفر موجود، برای تولید دانه رابطه دارد (Polania *et al.*, 2008).

نتایج این پژوهش با یافته‌های اکثر محققان از جمله گروساک (Grusak, 2002) و گلین و همکاران (Gelin *et al.*, 2007) مبنی بر این که میزان ترکیبات دانه لگوم‌ها تحت تأثیر ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرد، مطابقت دارد. تفاوت ژنتیکی در میزان مواد معدنی بذر ارقام و ژنوتیپ‌های لوبیا از نظر عناصر کم مصرف مانند روی و آهن و عناصر پر مصرف مانند فسفر و کلسیم در مطالعات برخی محققان دیگر نیز مشخص شده است (Blair *et al.*, 2005؛ Graham *et al.*, 1999). مطابق جدول ۳، بیشترین کاهش مقدار آهن متأثر از تنش خشکی مربوط به لوبیا قرمز KS31170 بود و ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی کمترین درصد کاهش مقدار آهن را نشان دادند. لوبیا قرمز KS31170 با وجودی که بیشترین کاهش مقدار آهن دانه را داشت، اما از نظر تغییرات سایر ذخایر در وضعیت مناسب قرار داشت. لاین KS21486 با وجود کمترین کاهش مقدار آهن دانه متأثر از تنش خشکی، تغییرات زیادی از نظر سایر عناصر به‌ویژه فسفر نشان داد.

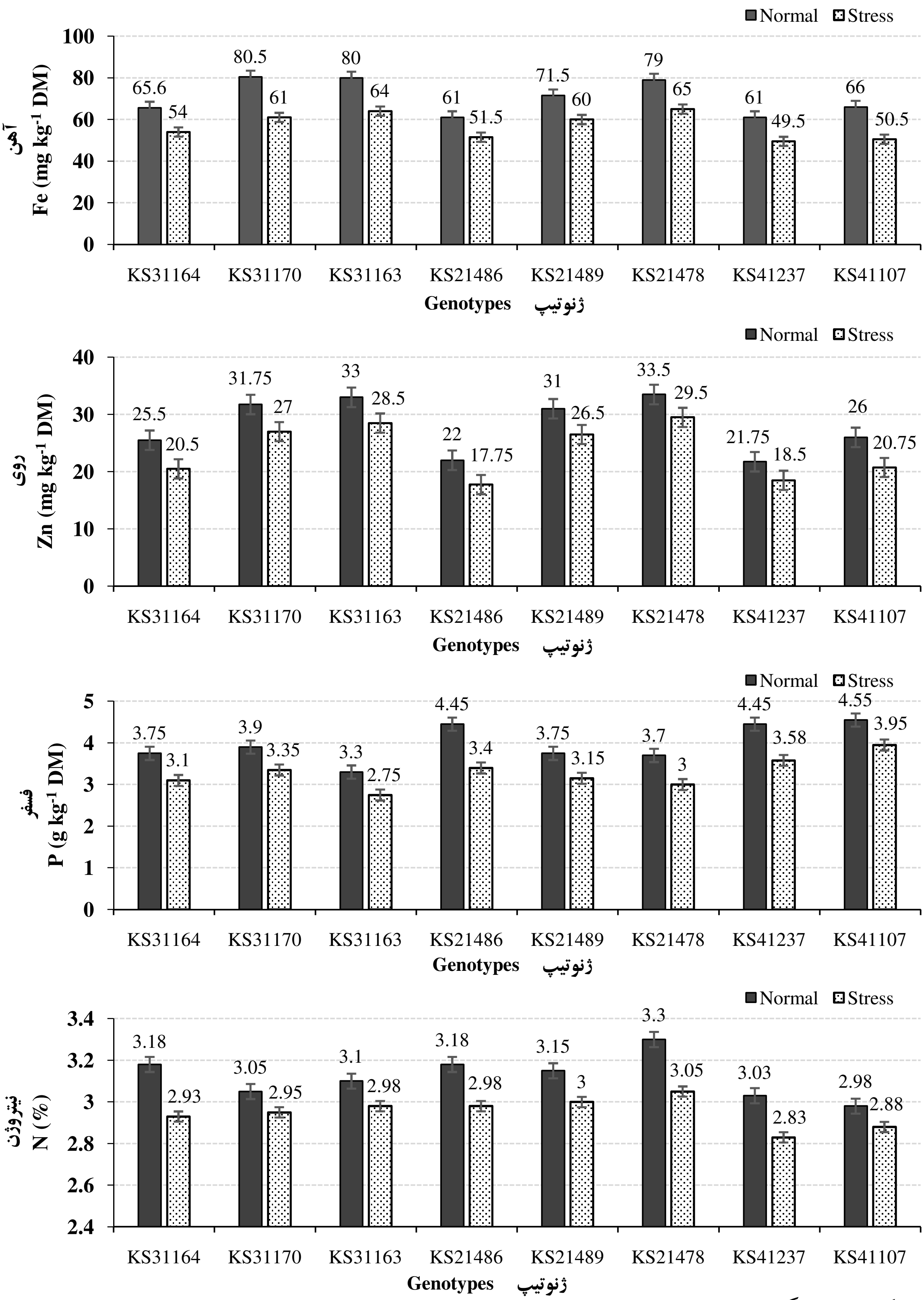
از نظر آهن و نیتروژن موجود در دانه، لوبیاهای سفید در شرایط تنش آبی دارای مقادیر کمتری نسبت به انواع قرمز و چیتی بودند و در مقابل فسفر بیشتری در این شرایط در دانه ذخیره کردند (جدول ۳). مطالعات محققان نشان

داده است که عوامل محیطی از جمله شرایط رطوبتی خاک، میزان مواد معدنی دانه و کیفیت غذایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Thomas *et al.,* 2009). بر اساس گزارش توماس و همکاران (Thomas *et al.,* 2003)، تنش خشکی اغلب با تنش دمایی توأم است. افزایش دما باعث ایجاد اثر منفی بر میزان نیتروژن، فسفر، اسیدهای چرب و کربوهیدرات‌های غیرساختاری می‌شود.

در آزمایش حاضر، تنش کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار مقادیر نیتروژن و پروتئین دانه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد (جدول‌های ۲ و ۳). بر اساس نتایج به دست آمده، به‌نظر می‌رسد که در اثر تنش کمبود آب رشد و نمو اندام هوایی گیاه مختل شده و در نتیجه موجب کاهش فعالیت بافت‌های رویشی از جمله برگ‌ها می‌شود که نتیجه آن کاهش میزان فتوسنتز و تجمع نیتروژن است. از طرفی کاهش فعالیت گره‌های ریشه در تثبیت نیتروژن ساخت و تجمع نیتروژن در دانه را کاهش می‌دهد. سایر محققان نیز کاهش مقدار نیتروژن دانه متأثر از تنش کمبود آب را در لوبیا گزارش کرده‌اند (Ramos *et al.,* 1999؛ Serraj and Sinclair, 1998). بر اساس گزارش‌های محققان، خشکی باعث کاهش تثبیت و تسهیم نیتروژن و در نتیجه میزان پروتئین می‌شود. تنش آبی در دوره پرشدن دانه، تجمع نیتروژن توسط بافت‌های گیاهی جدید را کاهش می‌دهد. دلیل اصلی آن اُفت رشد ریشه طی دوره پرشدن دانه است که به کاهش جذب نیتروژن منجر می‌شود (Prasad *et al.,* 2008). در آزمایش‌های مختلف مشاهده شده است که رشد و نمو ریشه (Singh, 2007؛ Welch and Graham, 1999)، غده‌زائی و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن (Ramos *et al.,* 1999؛ Serraj and Sinclair, 1998)، و جذب مواد غذایی توسط گیاه و دانه و بهره‌برداری از آن‌ها (Munoz-Perea *et al.,* 2005؛ Santos *et al.,* 2004) برای انباشت ذخایر دانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. در گندم نیز تنش خشکی در مراحل گلدهی و پرشدن دانه، غلظت و مقدار پروتئین را کاهش می‌دهد (Dubetz and Bole, 1973).

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، ژنوتیپ‌ها از نظر تجمع عناصر تفاوت قابل توجهی داشتند. در شرایط آبیاری نرمال، لوبیا قرمز KS31170 بیشترین مقدار آهن را نشان داد اما در شرایط کمبود آب، خشکی باعث کاهش معنی‌دار میزان آهن موجود در دانه آن شد. در هر دو شرایط آبیاری، دانه‌های ژنوتیپ KS21478 بیشترین مقادیر عنصر روی را داشتند و ژنوتیپ‌های KS41237 و KS21486 کمترین مقدار روی را نشان دادند. در مجموع، ذخیره مواد در دانه ژنوتیپ‌های KS21478، KS31163 و KS31170 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود.

بر اساس نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۴)،



شکل ۱- میانگین مقادیر عناصر معدنی تجمع یافته در دانه ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط آبیاری نرمال و کمبود آب

Fig. 1. Mean of minerals accumulation in seeds of bean genotypes in normal and water deficit conditions

جدول۴- ضرایب همبستگی ساده بین عناصر معدنی دانه و عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط نرمال و کمبود آب

Table 4. Correlation coefficients between seed minerals and yield of bean genotypes in normal and water deficit conditions

عناصر معدنی Minerals	آهن Iron		روی Zinc		فسفر Phosphorous		نیتروژن Nitrogen	
	N	S	N	S	N	S	N	S
Zinc	0.96**	0.97**						
Phosphorous	-0.77**	-0.79*	-0.80*	-0.65				
Nitrogen	0.21	0.79*	0.30	0.69	-0.45	-0.70		
Seed yield	0.46	0.69	0.48	0.73*	-0.63	-0.57	0.12	0.33

** و * : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد.

** and * : Significant at the 1% and 5% levels of probability, respectively.

N و S : به ترتیب شرایط نرمال و تنش.

N and S : Normal and water deficit conditions, respectively.

در شرایط آبیاری نرمال بین عناصر موجود در دانه و عملکرد همبستگی معنی‌دار وجود نداشت ولی در شرایط تنش آبی، روی تنها عنصری بود که با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار نشان داد. به‌عبارتی، انتخاب ژنوتیپ‌های لوبیا براساس میزان روی موجود در آن‌ها باعث دستیابی به ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا خواهد شد. در هر دو شرایط، آهن و روی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند و همبستگی فسفر با این دو عنصر منفی و معنی‌دار بود و با سایر صفات رابطه منفی نشان داد.

نتایج آزمایش گلین و همکاران (Gelin *et al.*, 2007) نشان داد که بین روی و آهن، کلسیم، فسفر و عملکرد دانه همبستگی مثبت وجود داشت. در مطالعات متعدد گزارش شده است که کمبود آهن اغلب با کمبود روی توأم می‌شود، چون منشأ هر دو عنصر از منابع غذایی مشابه است (Welch, 2001؛ Ronaghy, 1987). بر اساس گزارش بروگتون و همکاران (Broughton *et al.*, 2003) انتخاب برای اسید فیتیک پائین به کاهش‌های ناخواسته در مقدار پروتئین ارقام لوبیا منجر می‌شود.

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که روند رشد و نمو گیاه در لوبیا اهمیت زیادی دارد و عوامل محیطی، به‌ویژه کمبود آب در مراحل رشد و نمو نیام و دانه، تغییرات مهمی در عملکرد و ترکیبات ذخیره‌ای دانه آن ایجاد می‌کند. در این آزمایش، عملکرد دانه تحت تأثیر کمبود آب نزدیک به ۵۰ درصد کاهش نشان داد. میانگین عملکرد دانه انواع قرمز در شرایط عادی و تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود. کمبود آب در مزرعه باعث کاهش تجمع عناصر مورد بررسی در دانه ژنوتیپ‌های لوبیا شد، هرچند واکنش ژنوتیپ‌ها از این نظر متفاوت بود. بیشترین تأثیرپذیری از تنش کمبود

آب مربوط به عنصر آهن بود که میانگین تجمع آن در دانه بیش از ۱۹ درصد در اثر کمبود آب کاهش نشان داد. در مجموع، ذخیره مواد در دانه ژنوتیپ‌های KS21478، KS31163 و KS31170 در هر دو شرایط آبیاری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی مصوب (شماره ۸۸۰۶۷) مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر است. ضمناً از تمامی همکارانی که در اجرای پروژه همکاری داشتند تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Anonymous 2005. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of the Official Analytical Chemists, Guithersburg, Maryland, USA.

Beshir, H M., Bueckert, R., and Tar'an, B. 2016. Effect of temporary drought at different growth stages on snap bean pod quality and yield. African Crop Science Journal 24: 317-330.

Blair, M. W., Astudillo, C., and Beebe, S. 2005. Analysis of nutritional quality traits in an Andean recombinant inbred line population. Annual Reports in Bean Improvement Cooperative 48: 52-53.

Broughton, W. J., Hernandez, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., and Vanderleyden, J. 2003. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. Plant and Soil 252: 55-128.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil 302: 1-17.

Castaneda-Saucedo, M. C., Cordova-Tellez, L., Gonzalez-Hernandez, V. A., Delgado-Alvarado, A., Santacruz-Varela, A., and Garcia-de los Santos, G. 2009. Physiological performance, yield, and quality of dry bean seeds under drought stress. Interciencia 34: 748-754.

Chaves, M. M., Maroco, J. P., and Pereira, J. S. 2003. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. Functional Plant Biology 30: 239-264.

Dubetz, S., and Bole, S. B. 1973. Effect of moisture stress at early heading and nitrogen fertilizer on three wheat cultivars. Canadian Journal of Plant Science 53: 1-5.

Fageria, N. K., Balligar, V. C., and Jones, C. A. 1997. Common bean and cowpea. pp. 441-489. In: Fageria, N.K., Balligar, V.C., and Jones, C. A. (eds). Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Marcel Dekker Inc., USA.

Fageria, N. K., and Santos, A. B. 2008. Yield physiology of dry bean. Journal of Plant Nutrition 31: 983-1004.

Gelin, J. R., Forster, S., Grafton, K. F., McClean, P. E., and Rojas-Cifuentes, G. A. 2007. Analysis of seed zinc and other minerals in a recombinant inbred population of Navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Crop Science 47: 1361-1366.

Ghanbari, A. A., Mousavi, S.H., Mousapour Gorji, A., and Rao, I. 2013. Effects of water stress on leaves and seeds of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Turkish Journal of Field Crops 18: 73-77.

Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh Zadeh, A., and Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. Journal of Phytology 2: 73-79.

Graham, R., Senadhira, D., Beebe, S., Iglesias, C., and Monasterio, I. 1999. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: Conventional approaches. Field Crops Research 60: 57-80.

Grusak, M. A. 2002. Enhancing mineral content in plant food products. Journal of American College Nutrition 21: 178-183.

Gunes, A., Inal, A., and Adak, M. S. 2007. Mineral nutrition of wheat, chickpea and lentil as affected by mixed cropping and soil moisture. Nutrient Cycling in Agroecosystems 78: 83-96.

Gutierrez-Rodriguez, M., Escalante-Estrada, J. A., Gonzalez, M. T. R., and Reynolds, M. P. 2006. Canopy reflectance indices and its relationship with yield in common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) with phosphorous supply. International Journal of Agricultural Biology 8: 203-207.

Khan, H. R., McDonald, G. K., and Rengel, Z. 2003. Zinc fertilization improves water use efficiency, grain yield and seed Zn content in chickpea. Plant and Soil 249: 389-400.

Kigel, J. 1999. Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. Biotechnologie Agronomie Societe et Environnement 3: 205-209.

Long, J. K., Banziger, M., and Smith, M. E. 2004. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. Crop Science 44: 2019-2026.

Majnoon Hosseini, N. 2008. Grain Legume Production. University of Tehran, Press, Tehran, Iran (in Persian).

Martinez-Ballesta, M. C., Dominguez-Perles, R., Moreno, D. A., Muries, B., Alcaraz-Lopez, C., Bastias, E., Garcia-Viguera, C., and Carvajal, M. 2010. Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. Agronomy for Sustainable Development 30: 295-309.

Mouatt, M. C. H., and Nes, P. 1986. Influence of soil water content on the supply of phosphate to plants. Australian Journal of Soil Research 24: 435-440.

Munoz-Perea, C. G., Allen, R. G., Westermann, D. T., Wright, J. L., and Singh, S. P. 2007. Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. Euphytica 155: 393-402.

Munoz-Perea, C. G., Allen, R. G., Wright, J., Westermann, D., Teran, H., Dennis, M., and Singh, S. P. 2005. Drought resistance, water use efficiency and nutrient uptake by old and new dry bean cultivars. Annual Reports in Bean Improvement Cooperative 48: 144-145.

Munoz-Perea, C. G., Teran, H., Allen, R.G., Wright, J. L., Westermann, D. T., and Singh, S. P. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. Crop Science 46: 2111-2120.

Nunez Barrios, A., Hoogenboom, G., and Nesmith, D.S. 2005. Drought stress and distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. Scientia Agricola 62: 18-22.

Polania, J. A., Grajales, M., Cajiao, C., Garcia, G., Ricaurte, J., Beebe, S., and Rao, I. 2008. Physiological evaluation of drought resistance in elite lines of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under field conditions. CIAT, Cali, Colombia.

Prasad, P. V. V., Staggenborg, S. A., and Ristic, Z. 2008. Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and yield processes of crop plants. pp. 301-355. In: Segoe, S. (ed.). Response of Crops to Limited Water: Understanding and Modeling Water Stress Effects on Plant Growth Processes. ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA.

Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99: 127-136.

Ramos, M. L. G., Gordon, A. J., Minchin, F. R., Sprent, J. I., and Parsons, R. 1999. Effect of water stress on nodule physiology and biochemistry of a drought tolerant cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Annals of Botany 83: 57-63.

Rao, I. M. 2001. Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: The case of common bean and tropical forages. pp. 583-613. In: Pessarakli, M. (ed.). Handbook of Plant and Crop Physiology. Marcel Dekker Inc., USA.

Reinprecht, Y., Engelken, J., Michaels, T. E., and Pauls, K. P. 2004. Cloning genes for secondary metabolites that affect seed colour, plant defense, nodulation and human health in beans. Annual Reports in Bean Improvement Cooperative 47: 77-78.

Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gomez, M., and Loarca-Pina, G. 2006. Bioactive components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Advances in Agricultural and Food Biotechnology 37: 217-236.

Ronaghy, H. A. 1987. The role of zinc in human nutrition. World Review of Nutrition and Dietetics 54: 237-254.

Rosado, J. L., Lopez, P., Morales, M., Munoz, E., and Allen, L. H. 2007. Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. Nutrition 68: 45-58.

Santalla, M., de Ron, A. M., and Casquero, P. A. 1995. Nutritional and culinary quality of bush bean populations intercropped with maize. Euphytica 84: 57-65.

Santos, M. G., Ribeiro, R. V., de Oliveira, R. F., and Pimentel, C. 2004. Gas exchange and yield response to foliar phosphorus application in *Phaseolus vulgaris* L. under drought. Brazilan Journal of Plant Physiology 16: 171-179.

Seenaiah, R., Madhu Babu, T., Akbar Basha, P., Srihari, A., Suvarna, J., Sankar Babu, M. V., and Thimma Naik, S. 2015. Studies on morphological and physiological traits on mineral composition in cluster bean genotypes under drought stress. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences 5: 250-256.

Serraj, R., and Sinclair, T. R. 1998. N_2 fixation response to drought in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Annals of Botany 82: 229-234.

Sharma, S. S., and Dietz, K. J. 2006. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. Journal of Experimental Botany 57: 711-726.

Singh, S. P. 2007. Drought resistance in the race Durango dry bean landraces and cultivars. Agronomy Journal 99: 1219-1225.

Thomas, J. M. G., Boote, K. J., Allen Jr, L. H., Gallo-Meagher, M., and Davis, J. M. 2003. Elevated temperature and carbon dioxide effects of soybean seed composition and transcript abundance. Crop Science 43: 1548-1557.

Thomas, J. M. G., Prasad, P. V. V., Boote, K. J., and Allen, L. H. 2009. Seed composition, seedling emergence and early seedling vigor of red kidney bean seed produced at elevated temperature and carbon dioxide. Journal of Agronomy and Crop Science 195: 148-156.

Urrea, C. A., Yonts, C. D., Lyon, D. J., and Koehler, A. E. 2009. Selection for drought tolerance in dry bean derived from the Mesoamerican gene pool in Western Nebraska. Crop Science 49: 1-6.

Welch, R. M. 2001. Micronutrients, agriculture, and nutrition: Linkages for improved health and well-being. pp. 247-289. In: Singh, K., Mori, S., and Welch, R.M. (eds.). Perspectives on the Micronutrient Nutrition of Crops. Scientific Publishers, Jodhpur, India.

Welch, R. M., and Graham, R. D. 1999. A new paradigm for world agriculture: Meeting human needs, productive, sustainable, and nutritious. Field Crops Research 60: 1-10.